

# Agricultures des savanes du Nord-Cameroun

Vers un développement solidaire  
des savanes d'Afrique centrale



Projet Garoua

IRAD ■ CIRAD ■ ORSTOM

Ministère de la recherche scientifique et technique du Cameroun

Ministère français de la coopération

Caisse française de développement

**Actes de l'atelier d'échange**

25-29 novembre 1996

Garoua, Cameroun



Illustration de couverture  
Récolte de sorgho, Cameroun.  
J. Martin

© CIRAD 1997



# Fertilité des sols et réponse du cotonnier à la fertilisation

K. GUYOTTE

CIRAD-CA / IER, BP 183, Sikasso, Mali

J. MARTIN

CIRAD-CA / ISRA, BP 53, Bambey, Sénégal

J. EKORONG

IRAD, BP 33, Maroua, Cameroun

**Résumé** — Dans le bassin gréseux de Garoua, un réseau de 150 essais courbes de réponse à la fertilisation en milieu paysan, associé à des analyses de sol et de mesures de physique du sol, a permis d'évaluer et de diagnostiquer les états de fertilité atteints en milieu réel dans les systèmes de culture à base de coton. Les rendements en coton graine couvrent une gamme allant de 430 à 3 400 kg/ha pour la fertilisation recommandée de 250 kg/ha. La classification proposée des états de fertilité s'appuie sur des critères agronomiques choisis empiriquement afin de discriminer au mieux l'allure des courbes de réponse à la fertilisation en trois catégories. Ainsi, 15 % des surfaces encadrées par la Sodécoton sont classées dans la catégorie des sols dégradés, 15 % dans la catégorie des sols non dégradés et 70 % dans la catégorie intermédiaire. Le diagnostic des mécanismes pédologiques de la dégradation de la fertilité met en avant le rôle central joué par la matière organique particulièrement en raison de sa contribution majeure à la capacité d'échange cationique. La mise en culture provoque une baisse importante du taux de matière organique par minéralisation, la faiblesse des restitutions et des apports d'engrais explique la désaturation du complexe adsorbant et, dans une phase ultérieure, l'acidification. On dispose ainsi d'un référentiel, spécifique à ce type de sols, mettant en relation caractéristiques physico-chimiques et états de dégradation de la fertilité.

Mots-clés : fertilité, système de culture, cotonnier, matière organique, fertilisation, Nord-Cameroun.

## Introduction

### Les inquiétudes du développement

Lors des rencontres d'agronomie de Maroua, en octobre 1989, la Sodécoton (Société de développement du coton) manifeste ses inquiétudes face à la

dégradation de la fertilité des sols en plusieurs lieux de la zone cotonnière. Cette dégradation est perçue par un plafonnement, voire une baisse des rendements ne permettant plus la rentabilisation des programmes d'intensification vulgarisés.

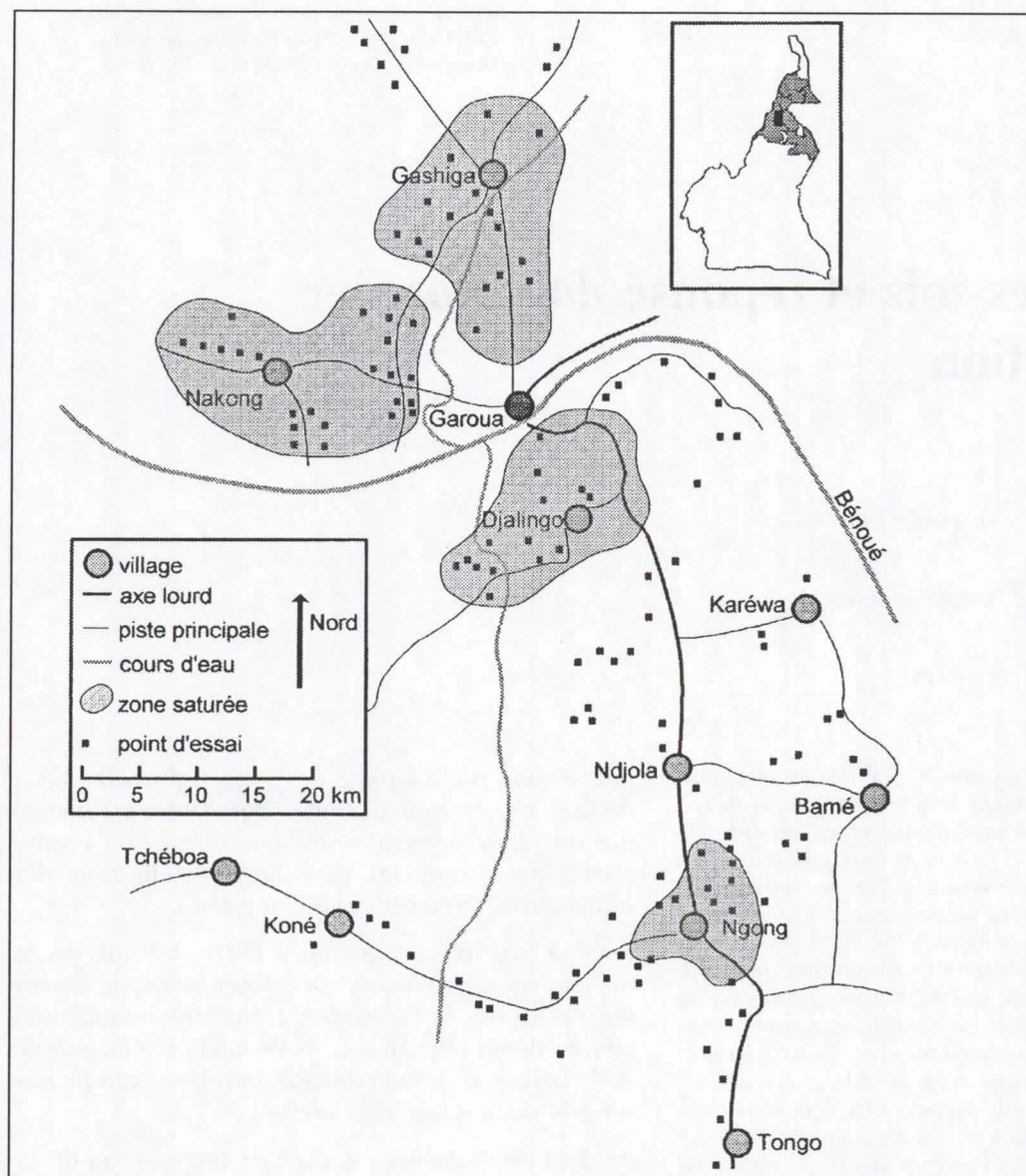
Face à ces préoccupations, l'IRA (Institut de la recherche agronomique, Cameroun) propose, et met en place pour la campagne 1990, une enquête diagnostique dont l'objectif est l'évaluation et le diagnostic de la baisse de fertilité des sols ferrugineux tropicaux sur grès de la région de Garoua.

Au-delà du diagnostic, il s'agit de proposer au développement un ensemble de solutions techniques appropriées, en fonction des états de fertilité, appliquées au système de culture et permettant un accroissement durable de la productivité. Cela nécessite, par ailleurs, la mise au point d'indicateurs de la fertilité accessibles aux structures d'encadrement.

### Contexte de l'étude

L'étude porte sur une zone de 90 km sur 60, située dans le bassin sédimentaire de grès quartzeux de Garoua (500 000 ha) et couvre les secteurs Sodécoton de Hamakoussou (zones de Gashiga et Nakong), Djalingo et Ngong, faisant partie de la région de Garoua Ouest (figure 1).

Le climat est de type soudano-sahélien avec une pluviométrie annuelle de 900 à 1 000 mm marquée par de fréquentes périodes de sécheresse d'environ deux semaines en début de campagne (mai, début juin) (M'BIANDOUN 1990).



**Figure 1.** Localisation des points d'essai.

Les paysages associent de hautes buttes à sommet tabulaire, les affleurements des grès quartzeux de Garoua, et des collines basses à longs versants et faibles pentes se raccordant par des bas-fonds évasés. La couverture pédologique est constituée de l'association, classique sur grès, des sols ferrugineux peu différenciés et peu profonds des lignes de crêtes, des sols ferrugineux lessivés en position intermédiaire et des sols hydromorphes en bas de versant. La végétation naturelle est une savane arborée à combrétacées.

La région de Garoua, jadis très peu peuplée, est, depuis 30 ans, une zone d'accueil pour des migrants de la province de l'Extrême-Nord et du Tchad. La densité de population rurale dans le département de la Bénoué est passée de 17 à 24 habitants/km<sup>2</sup> entre 1987 et 1993, soit le deuxième plus fort taux de croissance du Nord-Cameroun. La population rurale reste cependant nettement moins dense que dans la

province de l'Extrême-Nord. Les terroirs des villages les plus anciens sont saturés ou en voie de saturation, même si les réserves en terres sont encore importantes. Cependant, celles-ci sont largement exploitées pour le bois de feu (consommation urbaine) et l'élevage bovin transhumant. Les éleveurs exploitent successivement la savane, les jachères et les résidus de culture en vaine pâture, et les zones plus humides (berges et pâturages méridionaux).

L'agriculture est le fait de petits paysans, cultivant 3 à 4 ha en moyenne, pour qui le coton est la principale culture de rente. Bénéficiant de l'encadrement et de la logistique de la Sodécoton, cette culture est pratiquée de manière semi-intensive en rotation avec les sorghos, l'arachide et, plus récemment, le maïs. La culture attelée est largement utilisée pour la préparation des terres, mais assez peu pour les entretiens et les transports, en raison d'un sous-équipement en



attelages et en outils. La consommation d'engrais est d'environ 150 kg/ha/an sur le cotonnier (engrais complet et urée), auxquels s'ajoutent 50 kg/ha/an d'urée sur le maïs. Les niveaux de rendement pour les principales cultures sont de 1 300 kg/ha pour le coton, 2 000 kg/ha pour le maïs et 800 kg/ha pour le sorgho rouge précoce, le *djigari*, et l'arachide.

## Méthodologie employée

La question posée par le développement à la recherche ne peut être résolue par une approche expérimentale classique car elle demande des réponses à de multiples échelles (plante, parcelle, système agricole). Dans une approche de type enquête-diagnostic, l'analyse de la variabilité des situations existant naturellement et des résultats dans la zone d'étude permet, par enquête, de proposer un diagnostic. La méthodologie employée est décrite dans la figure 2. Elle est proche de celle utilisée en culture bananière par PERRIER et DELVAUX (1991).

Une enquête préliminaire a été réalisée auprès des agents de l'encadrement et des notables locaux.

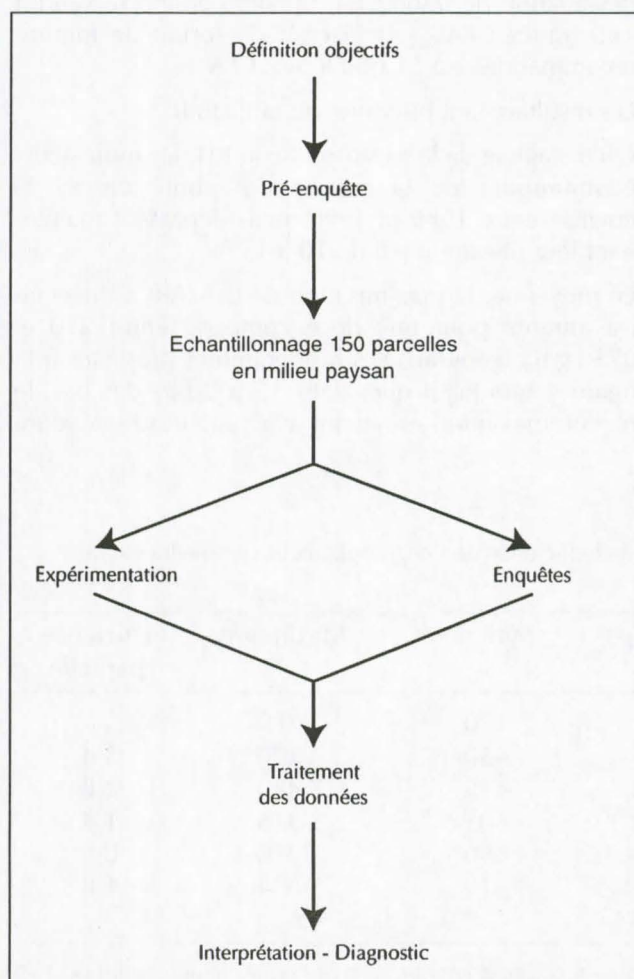


Figure 2. Diagramme méthodologique.

Il leur était demandé de recenser les blocs de culture de leur zone d'intervention et de les classer en trois catégories selon leur perception de la fertilité : fertile, fatigué ou moyen. Les blocs regroupent quelques dizaines, parfois centaines, de parcelles carrées de 2 500 m<sup>2</sup> ou « quarts », sur lesquels est pratiquée une rotation coton-cultures vivrières. L'enquête préliminaire a servi de base d'échantillonnage pour le choix de 150 quarts, selon une répartition équilibrée (non proportionnelle à l'importance de chaque classe de fertilité).

La phase de terrain proprement dite comporte deux volets :

- un volet expérimental, qui, par le moyen d'essais de courbe de réponse à la fertilisation, a permis d'acquérir les variables à expliquer ;
- un volet d'enquête permettant de renseigner les variables explicatives : pluviométrie, analyses de sols, caractérisation de physique du sol, itinéraire technique, historique des systèmes de culture...

La dernière étape se résume au traitement statistique des données et à leur interprétation.

## Réponse à la fertilisation

Le dispositif est constitué d'un réseau de 150 essais de courbe de réponse à la fumure complète, à 2 répétitions avec 5 doses de fertilisants en progression arithmétique (incrément de 125 kg/ha) :

- 000 : témoin sans engrais ;
- 125 : 100 kg/ha d'engrais NPKSB + 25 kg/ha d'urée ;
- 250 : 200 kg/ha d'engrais NPKSB + 50 kg/ha d'urée (fumure recommandée) ;
- 375 : 300 kg/ha d'engrais NPKSB + 75 kg/ha d'urée ;
- 500 : 400 kg/ha d'engrais NPKSB + 100 kg/ha d'urée.

L'engrais complet utilisé est du 15.20.15.6.1, apporté au semis ou à la levée. L'urée est apportée en couverture au buttage. Le quart d'essai est tenu par un paysan, qui en échange de l'engrais qui lui est fourni par la recherche, s'engage à entretenir sa parcelle et à respecter les quelques contraintes liées à l'expérimentation (récoltes, pesées).

## Variabilité des courbes de réponse

Pour chaque parcelle, une analyse préalable des données collectées a été effectuée pour validation. Ainsi, les parcelles présentant des données manquantes ou aberrantes, une forte hétérogénéité de terrain, ou même des accidents en cours de culture (inondations, pâturage...) ont été éliminées. Pour les 133 parcelles validées, la variabilité couverte par les



rendements de coton graine est résumée dans le tableau I.

Les courbes de réponse obtenues présentent une grande diversité aussi bien dans leur position que dans leur pente. La gamme des rendements va de 170 à 3 430 kg/ha, soit un facteur 20 du plus faible au plus fort. L'efficacité moyenne de la fertilisation est de 1,8 kg de coton graine par kg d'engrais, mais diminue de 3,4 kg pour la dose faible à 0,6 kg pour le dernier incrément de 125 kg/ha d'engrais, traduisant globalement la courbure des courbes de réponse.

Une analyse en composantes principales sur les rendements de chaque parcelle montre que les deux premiers axes résument respectivement 88 et 6 % de la variabilité totale entre parcelles. Les coordonnées des vecteurs propres dans l'espace des variables indiquent que, à un facteur près, la première composante est approximativement la moyenne des rendements pour les 5 doses d'engrais, et que la seconde composante traduit l'intensité de la réponse linéaire du rendement à la fertilisation.

La figure 3 présente la disposition des individus (parcelles) sur le plan factoriel 1 x 2, s'interprétant donc comme un graphe rendement moyen x réponse linéaire à la fertilisation. La réponse linéaire à la fertilisation est :

- faible pour les parcelles à rendement moyen faible ;
- forte pour les parcelles à rendement moyen intermédiaire ;
- faible pour les parcelles à rendement moyen élevé.

## Efficiencia de engrais y rentabilidad económica

L'analyse économique des résultats des courbes de réponse a porté sur l'évaluation des éléments suivants :

- la marge brute après remboursement des intrants (MARI) ;
- la rémunération de la journée de travail (RJT) pour un itinéraire technique standard d'un paysan équipé en culture attelée ;
- le taux marginal de rentabilité (TMR) sur la marge brute relative aux engrais, incluant les coûts supplémentaires de main d'œuvre pour l'épandage d'engrais et la récolte (à raison de 20 kg de coton graine par jour de récolte avec un coût d'opportunité de la main d'œuvre de 500 francs CFA, avant dévaluation, et de 700 francs CFA après). Le taux marginal de rentabilité permet d'évaluer le rendement financier de l'investissement nécessaire pour passer à l'option supérieure.

Les évolutions de prix ayant été très rapides durant la dernière décennie, trois cas de figure sont présentés :

- 1986/1987 : avant la crise cotonnière et après la suppression des subventions aux intrants, le coton graine se vend à 140 francs CFA/kg et le coût du forfait de fumure recommandée est 39 000 francs CFA ;
- 1990/1991 : année de l'enquête, après la chute des cours de la fibre, le coton graine se vend à 95 francs CFA/kg et le coût du forfait de fumure recommandée est 29 500 francs CFA ;
- 1995/1996 : troisième campagne après la dévaluation du franc CFA, le coton graine se vend à 160 francs CFA/kg et le coût du forfait de fumure recommandée est 51 000 francs CFA.

Les résultats sont présentés au tableau II.

Qu'il s'agisse de la MARI ou de la RJT, les indicateurs économiques de la culture ont chuté de 35 % environ entre 1986 et 1990, mais dépassent maintenant leur niveau initial de 10 à 15 %.

En moyenne, la maximisation de la MARI à l'hectare est atteinte pour une dose comprise entre 250 et 375 kg/ha d'engrais. Les histogrammes présentés à la figure 4 indiquent que, dans 15 à 20 % des cas, le revenu maximum est atteint avec une dose inférieure

**Tableau I.** Variabilité des rendements de coton graine (kg/ha) et de l'efficacité de l'engrais (kg coton graine/kg engrais) pour 133 parcelles.

Fertilisation	Moyenne	CV %	Ecart-type	Minimum	Maximum	Efficacité partielle
000 (sans engrais)	1 077	47,1	507	170	2 780	-
125 kg/ha	1 502	38,5	577	430	3 120	3,4
250 kg/ha	1 752	33,1	580	435	3 430	2,0
375 kg/ha	1 916	30,6	586	605	3 315	1,3
500 kg/ha	1 994	30,1	600	660	3 270	0,6
Moyenne	1 648	32,4	534	510	3 034	1,8
Réponse linéaire	1,8	46,0	0,83	0,0	4,6	-

L'efficacité partielle est l'efficacité de l'engrais en kg de coton graine par kg d'engrais calculée pour chaque palier de 125 kg/ha d'engrais. La réponse linéaire est donnée par la formule :

$- 2 \times \text{rendement } 000 - 1 \times \text{rendement } 125 + 1 \times \text{rendement } 375 + 2 \times \text{rendement } 500.$



à 250 kg/ha, mais plus de 50 % des parcelles gagneraient à recevoir davantage d'engrais.

La dose réelle utilisée par les paysans est cependant plus proche de 125 kg/ha que de la fumure recommandée. De fait, la recherche de l'optimisation de la rémunération de la journée de travail conduit à une dose de 125 à 150 kg/ha d'engrais, proche de ce que les paysans utilisent. Les histogrammes présentés à la figure 4 indiquent que ce paramètre est le plus fréquemment maximisé avec la dose 125 kg/ha. En 1995, 75 % des parcelles maximisent la RJT avec une dose inférieure à la dose recommandée.

La méthodologie d'évaluation économique de l'expérimentation agronomique développée par le CYMMIT

(Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, Mexique) avance qu'une innovation est acceptable en milieu paysan à partir d'un TMR de 40 % (BOSC, 1988). Selon cette norme, l'option 250 kg/ha n'est plus intéressante depuis la crise de la filière.

Influence des techniques culturales sur les rendements

Les paysans ont assuré eux-mêmes, avec leurs propres moyens, la conduite de leur parcelle d'essai, sous le contrôle d'un observateur chargé de veiller à la bonne qualité des interventions (dans l'ensemble,

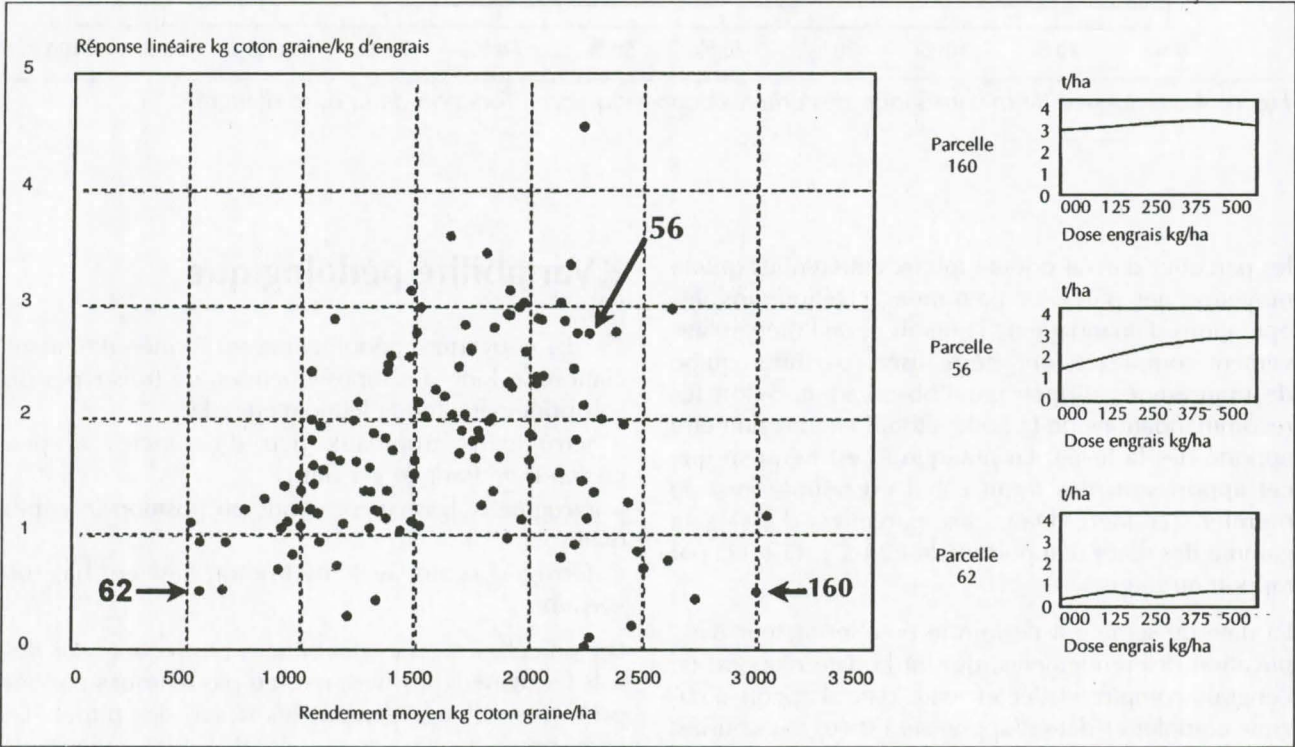


Tableau II. Indicateurs économiques de la rentabilité de la fertilisation en fonction de différents rapports de prix.

Dose	MARI (FCFA)			RIT (FCFA/jour)			TMR (%)		
	86/87	90/91	95/96	86/87	90/91	95/96	86/87	90/91	95/96
000	137 000	90 000	163 000	1 445	920	1 675	-	-	-
125	177 000	116 000	206 000	1 525	975	1 730	65	29	35
250	192 000	125 000	220 000	1 495	950	1 670	36	13	13
375	196 000	126 000	221 000	1 420	895	1 565	-3	-18	-19
500	187 000	118 000	208 000	1 310	810	1 410	-49	-55	-57
Optimum	325	300	300	160	150	120	-	-	-

Dose optimum kg/ha : moyenne pour 133 parcelles des doses d'engrais maximisant MARI et RJT.

MARI : marge après remboursement des intrants.

RJT : rémunération de la journée de travail.

TMR : taux marginal de rentabilité.



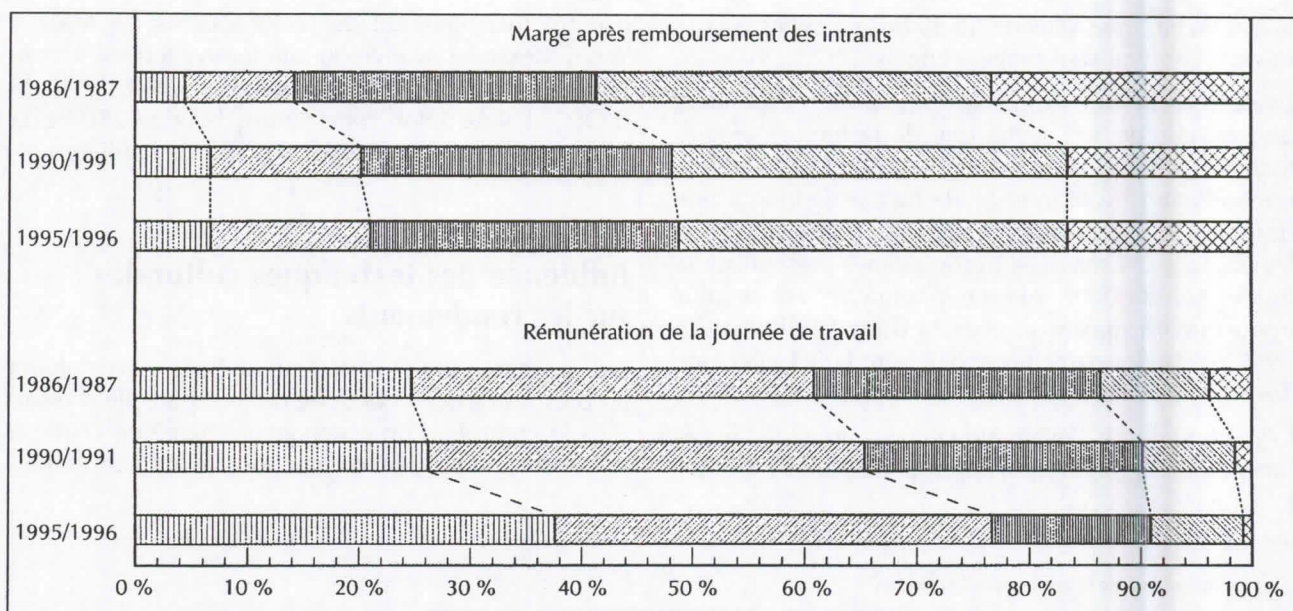


Figure 4. Fréquence de maximisation des critères économiques en fonction de la dose d'engrais.

les parcelles d'essai ont été mieux entretenues que la moyenne des parcelles paysannes). Néanmoins, les opérations d'épandage de l'engrais et de l'urée, relativement complexes, ont été réalisées par une équipe de manœuvres dirigée par l'observateur. Selon les recommandations de la Sodécoton, l'engrais doit être apporté dès la levée. En pratique, il est fréquent que cet apport soit plus tardif car il est couplé avec le premier sarclage. Dans les parcelles d'essai, la gamme des dates d'apport va de - 22 à + 41 jours par rapport au semis.

La date de semis est de loin le premier facteur d'explication des rendements, devant la date d'apport de l'engrais complet et l'écart entre date d'apport d'engrais complet et date d'apport de l'urée. Les courbes enveloppes présentées sur les figures 5, 6 et 7 permettent de situer les optima et d'évaluer les pertes moyennes journalières.

L'effet de la date de semis sur le rendement du cotonnier est bien connu, et s'explique par son influence sur la longueur de cycle (nombre d'étages fructifères produits). Dans les conditions de 1990 (les dernières pluies utiles ont eu lieu fin septembre) et selon les situations, on estime que les pertes de rendement vont de 30 à 50 kg/ha par jour de retard après le 15 juin.

En ce qui concerne les pratiques de fertilisation, l'optimum est atteint avec un apport précoce de l'engrais complet (à la levée) et un apport d'urée 30 jours plus tard, au début de la floraison. Le meilleur compromis pour satisfaire les besoins de la culture et limiter les pertes d'azote par lixiviation est obtenu lorsque trois cinquièmes de l'azote proviennent de l'engrais NPK.

## Variabilité pédologique

La couverture pédologique est formée de l'association, le long des toposéquences, de trois types de sols principaux (et de leurs intergrades) :

- ferrugineux tropicaux peu différenciés et peu profonds en haut de versant ;
- ferrugineux lessivés profonds en position intermédiaire ;
- ferrugineux lessivés hydromorphes en bas de versant.

Les parcelles d'essai sont situées en majorité sur des sols ferrugineux lessivés, peu ou pas marqués par des problèmes d'engorgement en saison des pluies. En effet, on ne trouve pas de véritable gley à moins de 80 cm de profondeur.

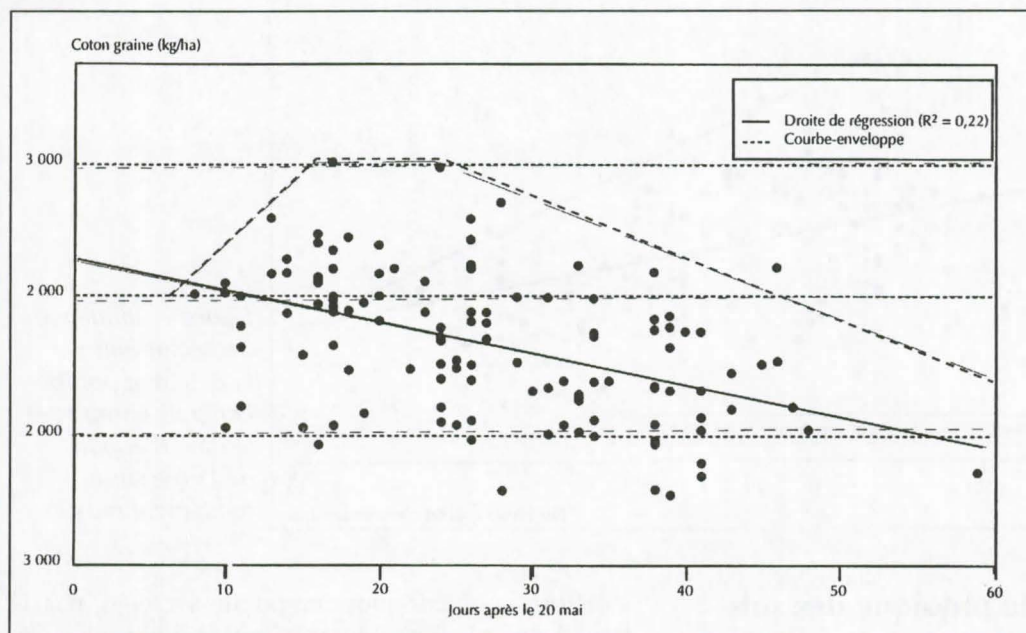
En raison de leur faible profondeur — et accessoirement de leur taux en éléments grossiers —, les sols ferrugineux peu différenciés des hauts de toposéquences sont marginaux dans l'échantillonnage.

Les caractéristiques présentées ci-dessous concernent 133 parcelles pour les données physico-chimiques, et un sous-échantillon de 60 parcelles pour la physique du sol.

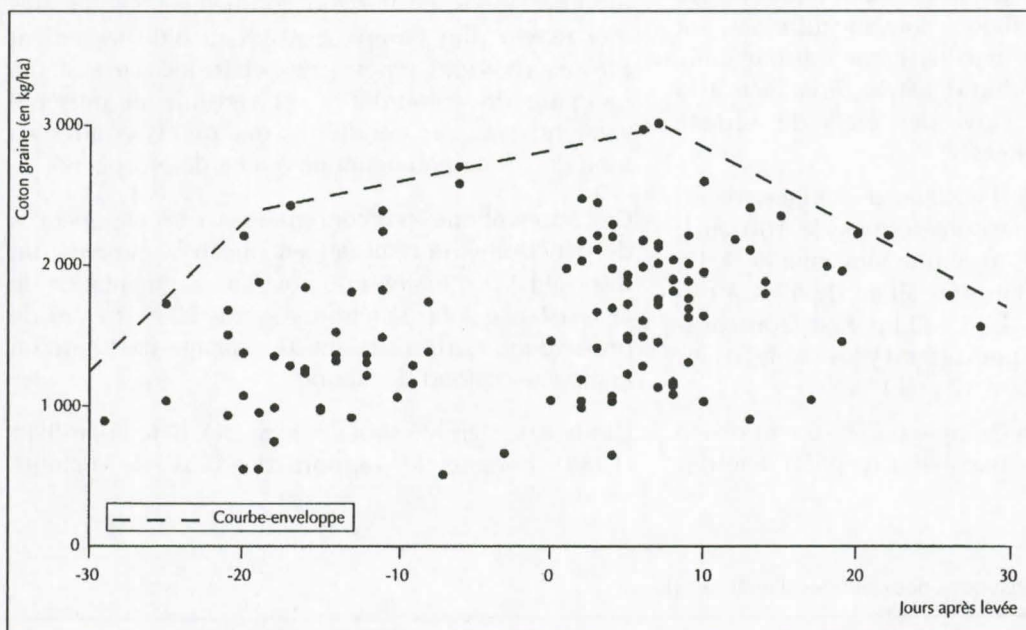
## Caractéristiques physico-chimiques

Ces sols sont caractérisés par une texture sableuse, puisque 93 % des parcelles d'étude ont des taux de sables dans l'horizon supérieur compris entre 75 et 90 %, à dominance de sables grossiers. Le taux moyen d'argile y est inférieur à 6 %, essentiellement





**Figure 5.** Influence de la date de semis sur le rendement moyen.



**Figure 6.** Influence de la date d'apport d'engrais sur le rendement moyen.

de type kaolinite, et augmente progressivement d'un facteur 2 ou 3 avec la profondeur.

Les teneurs en phosphore assimilable, mesurée par la méthode Olsen-Dabin, sont très faibles : 12 ppm en moyenne et 90 % des parcelles en dessous de 20 ppm.

Les taux de matière organique sont également très faibles, inférieurs à 1 % en surface dans 95 % des cas, avec une moyenne de 0,7 %.

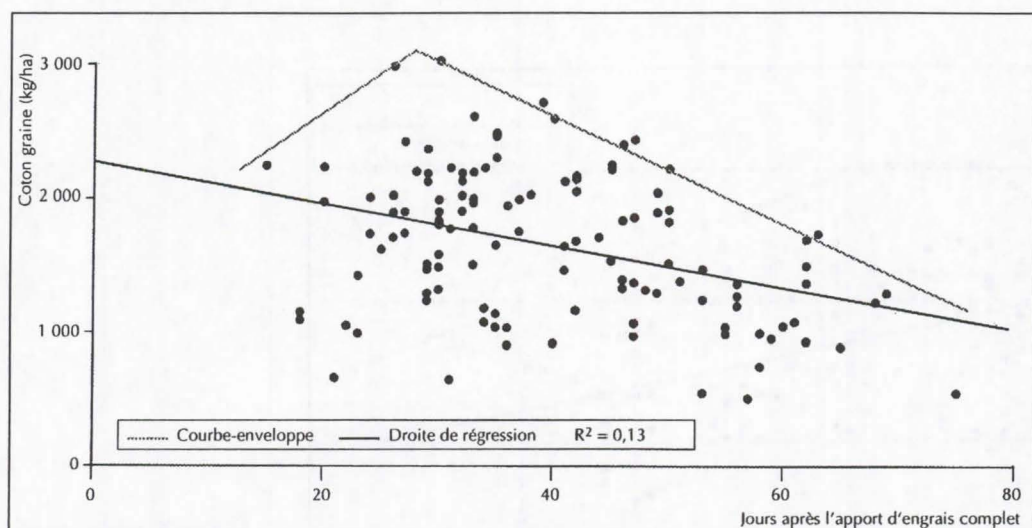
La capacité d'échange cationique (CEC) en surface, mesurée par la méthode cobaltihexamine, est très faible : la moyenne se situe à 2,4 meq/100 g et 83 % des parcelles ont une CEC inférieure à 3 meq/100 g. Elle est fonction du taux de matière organique et,

dans une moindre mesure, du pourcentage d'argile contenu dans le sol.

Les proportions des 3 cations majeurs dans la garniture cationique sont en moyenne de 77 % de  $\text{Ca}^{++}$ , 16 % de  $\text{Mg}^{++}$  et 7 % de  $\text{K}^+$ , soit un bon équilibre. La désaturation du complexe adsorbant peut ramener ces proportions respectivement à 45, 30 et 25 %.

Les problèmes d'acidité concernent moins de 10 % des parcelles avec un pH dans l'horizon de surface inférieur à 5,5, la moyenne générale se situant à 6 ; dans l'horizon 20-40 cm, 20 % des parcelles présentent des taux d'aluminium échangeable non nul.

Les paramètres statistiques sont présentés au tableau III.



**Figure 7.** Influence de l'écart entre la date d'apport de l'engrais complet et la date d'apport de l'urée sur le rendement moyen.

## Caractéristiques de physique des sols

Les caractérisations des paramètres physiques du sol ont porté, avec des méthodes souvent rustiques, sur la détermination de la densité apparente par unité structurale du profil cultural, de la résistance à la pénétration et sur le suivi des états de surface pendant la saison des pluies.

La densité apparente de l'horizon de surface, déterminée par cylindres densitométriques de 100 cm<sup>3</sup>, varie entre 1,33 et 1,58, avec une moyenne de 1,49, ce qui représente des porosités allant de 40 à 49 % pour une moyenne de 43 %. Dans l'horizon sous-jacent, non travaillé, la porosité est plus faible, 41 % en moyenne, et varie entre 37 et 44 %.

L'observation des profils culturaux (0 à 40 cm) révèle des horizons à structure massive, exception faite des

structures polyédriques temporaires créées par le travail du sol. Fréquemment, on observe aussi, en fond de labour, un horizon de quelques centimètres d'épaisseur plus compact, résultant d'un tassement dû aux passages répétés des charrues. Le système racinaire du cotonnier y est sensible et présente souvent dans ces conditions des pivots coudés en fond de labour entraînant un déficit de prospection.

Ces observations sont confirmées par les expériences de pénétrométrie réalisées en saison sèche avec un dispositif à percussion : on note une augmentation de la résistance à la pénétration entre 10 et 15 cm de profondeur, correspondant au passage de l'horizon compacté de fond de labour.

L'indice de stabilité structurale St (%), défini par PIERI (1989) comme le rapport du taux de matière

**Tableau III.** Paramètres statistiques des données d'analyses de sol.

	0-20 cm				20-40 cm			
	Moyenne	ET	Minimum	Maximum	Moyenne	ET	Minimum	Maximum
Argile %	6,0	1,85	1,6	11,5	8,5	3,51	2,5	22,2
Limon %	10,5	3,93	2,0	23,4	10,1	3,51	2,4	18,9
Sable fin %	21,2	8,90	9,3	56,8	20,0	8,89	9,4	53,3
Sable grossier %	62,4	10,04	29,3	79,4	61,4	10,16	25,9	77,3
MO %	0,65	0,19	0,31	1,50	0,48	0,15	0,24	1,17
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ppm	12,1	10,17	4,7	103,5	9,8	13,56	2,3	153,7
CEC meq/100 g	2,41	0,89	0,96	7,22	2,07	1,08	0,83	10,20
Ca meq/100 g	1,85	0,73	0,44	5,37	1,51	0,82	0,41	7,09
Mg meq/100 g	0,41	0,19	0,09	1,56	0,37	0,23	0,09	2,34
K meq/100 g	0,15	0,09	0,06	0,72	0,11	0,08	0,04	0,56
Al meq/100 g	0	0,03	0	0,35	0,02	0,11	0	1,14
Saturation %	104	11,18	66	133	103	13,54	56	135
pH	6,1	0,50	4,9	8,3	5,9	0,54	4,8	8,20

ET : écart-type.

MO : matière organique.

CEC : capacité d'échange cationique.



organique sur le taux d'argile + limons fins, a été calculé pour chaque parcelle. Il permet d'évaluer la sensibilité d'une terre à la dégradation physique. Sa distribution, présentée au tableau IV, montre que 95 % des parcelles seraient physiquement dégradées ou présenteraient un fort risque de dégradation physique.

Cette instabilité structurale se traduit en surface par des phénomènes de battance, de ségrégation granulométrique : les agrégats soumis à l'énergie des pluies sont rapidement déstructurés et les sables libérés sédimentent dans les micro-cuvettes. Après un travail du sol, une pluie de 15 à 20 mm d'intensité moyenne suffit à générer une pellicule de battance. La porosité se referme, et la diminution de la conductivité hydraulique qui en résulte est à l'origine du ruissellement et de l'érosion.

Enfin, on peut ajouter qu'en raison de la texture sableuse, la réserve en eau est faible, inférieure à 1 mm par cm de sol. La profondeur utile (prospection racinaire) étant de l'ordre de 1 m et n'excédant jamais 1,5 m, la réserve utile est comprise entre 60 et 110 mm (M'BIANDOUN 1990).

## Diagnostic des états de fertilité

### Evaluation des états de fertilité

#### Typologie des parcelles

L'un des objectifs de cette étude est de permettre un classement des parcelles en fonction des états de fertilité. Cette typologie se fonde sur les paramètres des courbes de réponse à la fertilisation :

- classe A des sols dégradés, avec un rendement moyen faible et une faible réponse linéaire à la fertilisation, relevant d'une problématique de restauration de la fertilité ;
- classe B des sols peu dégradés, avec un rendement moyen intermédiaire et une forte réponse linéaire à la fertilisation, relevant d'une problématique d'amélioration de la fertilité ;
- classe C des sols non dégradés, avec un rendement moyen fort et une faible réponse linéaire à la fertilisation, relevant d'une problématique de maintien de la fertilité.

Les limites de classe ont été choisies empiriquement sur le nuage de points rendement moyen/réponse linéaire à la fertilisation (figure 3), de manière à optimiser les différences entre courbes de réponse moyennes de chaque classe :

- classe A : réponse linéaire  $\leq 1,5$  et rendement moyen  $\leq 1\ 700$  kg/ha ;
- classe B : réponse linéaire  $> 1,5$  ;

- classe C : réponse linéaire  $\leq 1,5$  et rendement moyen  $> 1\ 700$  kg/ha.

Le seuil sur la réponse linéaire de 1,5 kg de coton graine par kg d'engrais correspond à une efficience de 3 kg de coton graine/kg d'engrais pour une fertilisation de 125 kg/ha.

On classe ainsi 25 % des parcelles d'étude dans la classe des parcelles dégradées (A), 60 % dans la classe intermédiaire peu dégradée (B), et 15 % dans la classe des parcelles non dégradées (C).

Les courbes de réponse moyennes pour chaque classe sont présentées à la figure 8. Sans engrais, les potentialités en coton graine sont inférieures à 1 tonne pour la classe A, de l'ordre d'une tonne pour la classe B, et proche de 2 tonnes pour la classe C. Avec la fertilisation minérale, elles sont accrues d'environ 500, 1 200 et 600 kg/ha respectivement.

#### Caractéristiques physico-chimiques des sols par classe

Les caractéristiques analytiques moyennes des sols pour chaque classe ont été calculées. La partition se révèle discriminante sur le taux de matière organique, la CEC et le pH : le taux de matière organique est significativement supérieur pour la classe des sols non dégradés, et le pH significativement inférieur pour la classe des parcelles dégradées (tableau V). Au total, ces 3 paramètres permettent de discriminer les 3 classes d'états de fertilité :

- A sols dégradés : matière organique et CEC faibles et pH faible ;
- B sols peu dégradés : matière organique et CEC faibles et pH élevé ;
- C sols non dégradés : matière organique et CEC forts et pH élevé.

Les autres facteurs ne sont pas significativement différents entre les 3 classes d'états de fertilité.

#### Evaluation géographique

Dans l'ensemble, les résultats diffèrent peu de l'appréciation empirique que les agents d'encadrement de la Sodécoton ont fournie lors de la préenquête, à la différence que deux fois moins de parcelles sont classées dans la catégorie des sols non dégradés, et que l'excédent est reporté dans la classe intermédiaire (tableau VI).

Cependant, concernant la classe des sols dégradés, les résultats indiquent que le secteur de Djalingo est plus dégradé que celui d'Hamakoussou (partie sud du secteur), alors que c'est l'inverse selon les agents de la Sodécoton. Dans les deux cas, le secteur de Ngong, de colonisation plus récente, est celui qui comporte le plus de parcelles non dégradées et le moins de parcelles dégradées.



**Tableau IV.** Répartition des parcelles enquêtées selon les classes de risque de dégradation physique définies par PIERI (1989).

Classe		Fréquence
St < 5	Sols physiquement dégradés	73 %
5 < St < 7	Fort risque de dégradation physique	23 %
7 < St < 9	Risque de dégradation physique faible	2 %
9 < St	Sols suffisamment pourvus en matière organique	2 %

St : indice de stabilité structurale, défini par le rapport matière organique / (argile + limons fins).

**Tableau V.** Caractéristiques analytiques par classe d'état de la fertilité.

	Matière organique %	CEC meq/100 g	pH
Sols dégradés	0,60 [0,54 - 0,66]	2,28 [1,85 - 2,71]	5,86 [5,73 - 5,99]
Sols peu dégradés	0,65 [0,61 - 0,69]	2,59 [2,32 - 2,86]	6,17 [6,05 - 6,28]
Sols non dégradés	0,85 [0,75 - 0,94]	3,48 [2,70 - 4,25]	6,23 [6,04 - 6,41]

Moyenne par classe et intervalle de confiance à P = 95 %.

**Tableau VI.** Evaluation des états de la fertilité des sols sur grès de Garoua. Comparaison entre les résultats expérimentaux et la pré-enquête auprès des agents d'encadrement Sodécoton.

	Résultats expérimentaux			Pré-enquête Sodécoton		
	A	B	C	A	B	C
Secteur Hamakoussou	13	85	2	24	47	29
Secteur Djalingo	26	62	12	11	62	27
Secteur Ngong	9	64	27	9	51	40
Ensemble zone d'étude	15	70	15	13	54	33

Classe de fertilité : A dégradé, B peu dégradé, C non dégradé.

Résultats corrigés des facteurs d'échantillonnage et exprimés en pourcentage de la surface des blocs encadrés par la Sodécoton.

## Des sols pauvres et fragiles ?

La légende de la carte des sols du bassin de Garoua (BRABANT et GAVEAU, 1985) mentionne pour l'unité des sols ferrugineux tropicaux différenciés sur grès : « propriétés chimiques déficientes, faibles réserves en eau, risque de dégradation physique de surface ». Il s'agit donc de sols pauvres et fragiles. En fait, les résultats montrent que les potentialités de ces sols sont importantes, puisqu'après défriche on peut y récolter près de 3 tonnes de coton graine à l'hectare, et plus de 3 tonnes avec la fumure recommandée : la pauvreté chimique du sol est compensée par sa profondeur, des propriétés physiques favorables et un enracinement important. La conclusion pourrait donc être : « des sols fragiles mais pas si pauvres ».

## Explication de la variabilité des rendements par les facteurs pédologiques

### Les variables physico-chimiques identifiées

Dans une phase exploratoire, on a eu recours à l'analyse des corrélations entre les rendements moyens des essais de courbes de réponse et les variables pédologiques explicatives, complétée par l'examen des graphiques, afin d'éliminer de la suite de l'analyse les variables non pertinentes. Les méthodes d'analyses factorielles, notamment l'analyse factorielle des correspondances sur tableau de contingence permettent de hiérarchiser les variables et de déceler les confusions d'effets.



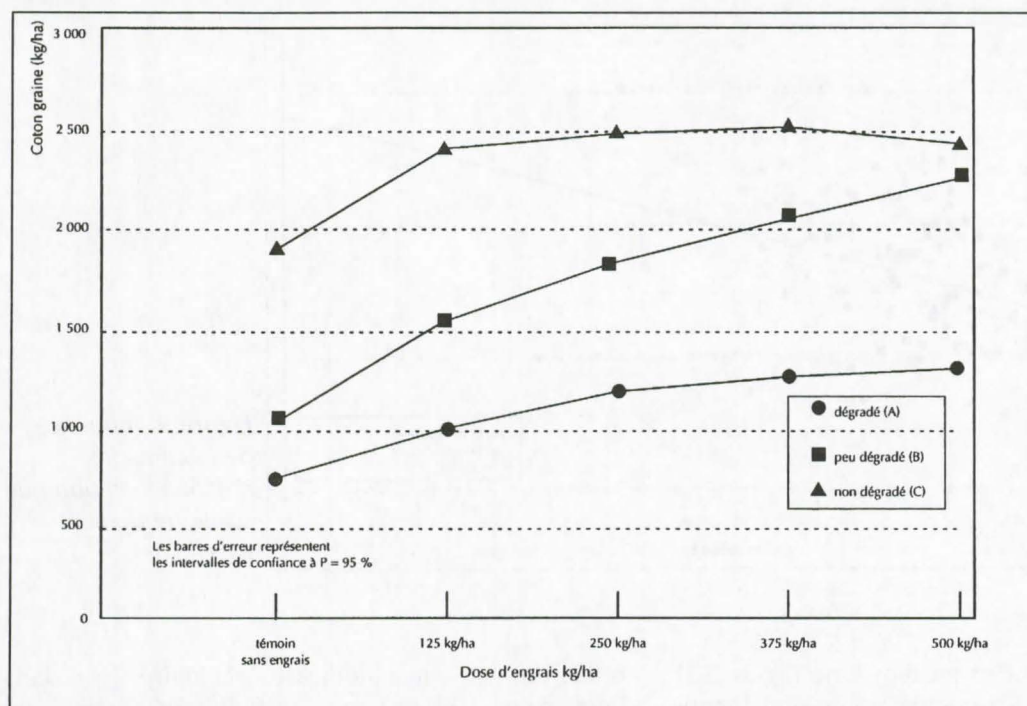


Figure 8. Courbes de réponse type par classe de fertilité.

Parmi l'ensemble des relations ayant été mises en évidence, seules les principales sont présentées :

- la capacité d'échange cationique (CEC) est la variable qui explique le mieux la variabilité des courbes de réponse. L'optimum de rendement (3 t/ha) est accessible pour une CEC d'au moins 2,5 meq/100 g, correspondant à un taux de matière organique de 0,7 %. En dessous de ces seuils, les rendements chutent (figure 9) ;

- dans l'analyse factorielle, les rendements les plus faibles sont liés aux parcelles les plus acides, dont la garniture cationique est déséquilibrée en défaveur des cations bivalents  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^{++}$ .

### Les mécanismes de la dégradation

La dégradation de la fertilité apparaît donc comme une conséquence de la dégradation du profil pédologique par un appauvrissement en bases. Deux phénomènes se cumulent et s'entretiennent mutuellement :

- la baisse de CEC, liée à la chute du taux de matière organique ;
- l'acidification du profil et la désaturation du complexe adsorbant.

La baisse de stabilité structurale qui résulte de ces processus chimiques (liée à la diminution des forces d'agrégation), est responsable de la dégradation physique des états de surface et du profil cultural, qui participe à son tour à la diminution de la productivité. La vie biologique du sol est aussi affectée. Ainsi, on identifie un ensemble de mécanismes, interdépendants, conduisant à la détérioration des terres de culture.

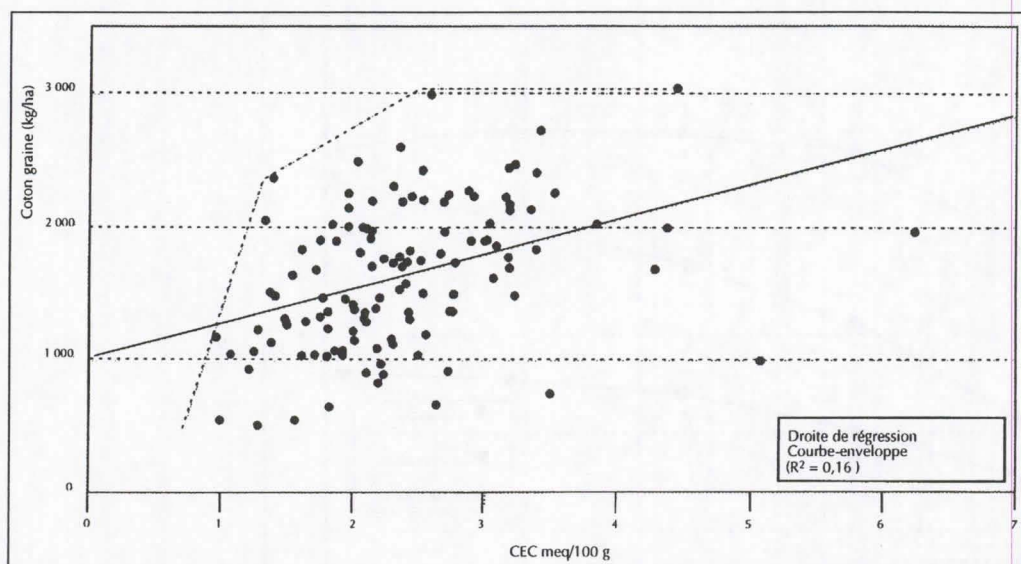
### Cinétique de la dégradation

Le taux de matière organique, la CEC et le pH diminuent de manière significative après la mise en culture. A titre d'estimation, les pertes annuelles se chiffrent à 0,007 point de matière organique et 0,04 meq/100 g pour la CEC, soit une baisse relative d'environ 1 % par an (figures 10 et 11). Ces données sont présentées à titre indicatif, mais leur validité est discutable en raison des difficultés rencontrées pour reconstituer de manière fiable l'historique des systèmes de culture de chaque parcelle. Ces chiffres sont faibles par rapport à ceux cités dans la littérature : 2 à 4 % dans des essais de longue durée (RICHARD, 1988 ; PIERI, 1989). Concernant le pH, le rythme de décroissance est environ de 0,02 unité par an (figure 12), soit une perte d'une demi-unité en 25 ans, chiffres comparables à ceux cités par PIERI (1989).

Certaines parcelles, déjà anciennes, ayant bénéficié récemment de périodes de jachère, ont pu être isolées du reste de la population. Bien que ce sous-échantillon soit très limité, les parcelles pour lesquelles la jachère a duré au moins 10 ans ont un taux de matière organique supérieur de 0,2 point par rapport aux parcelles de même âge sans jachère. Il en est de même pour le pH, bien que deux de ces parcelles aient des pH anormalement élevés, supérieurs à 7,5. Pour les jachères courtes de 1 à 2 ans, on ne distingue aucun effet.

Cette dégradation des paramètres physico-chimiques se traduit sur les rendements par une perte de





**Figure 9.** Influence de la capacité d'échange cationique sur le rendement moyen.

production de 18 kg/ha/an en moyenne (figure 13). Les parcelles remises en culture après une longue jachère sont bien individualisées, avec des productions supérieures de 500 kg/ha.

## Les causes de la dégradation de la fertilité

Les phénomènes de dégradation de la fertilité ont leur origine dans les systèmes de culture, eux-mêmes largement déterminés dans leurs évolutions par les mutations de la filière coton et l'augmentation de la pression sur le foncier.

### La mise en culture

Au défrichement, la couverture végétale totale et quasi-permanente de la savane naturelle, arbres et graminées vivaces à fort enracinement, est détruite. Elle est remplacée par une succession de cultures annuelles de cycles plus courts, et la couverture végétale devient quasi nulle (labours) ou reste très partielle (sarclages et buttage) pendant de longues périodes. La surface du sol se trouve ainsi beaucoup plus exposée à l'agressivité du climat : fortes températures et pluies violentes. L'élévation de la température et l'aération de l'horizon superficiel perturbé par le travail du sol favorisent la minéralisation de la matière organique. La formidable énergie cinétique des averses tropicales tend à détruire le modèle de surface, augmentant considérablement le ruissellement et l'érosion. Par ailleurs, l'enracinement des cultures annuelles est nettement inférieur, verticalement et horizontalement, à celui constamment renouvelé des savanes ; la lixiviation de l'azote et des bases est donc accrue, les remontées de minéraux sont réduites. Enfin, la répétition du travail du sol et la

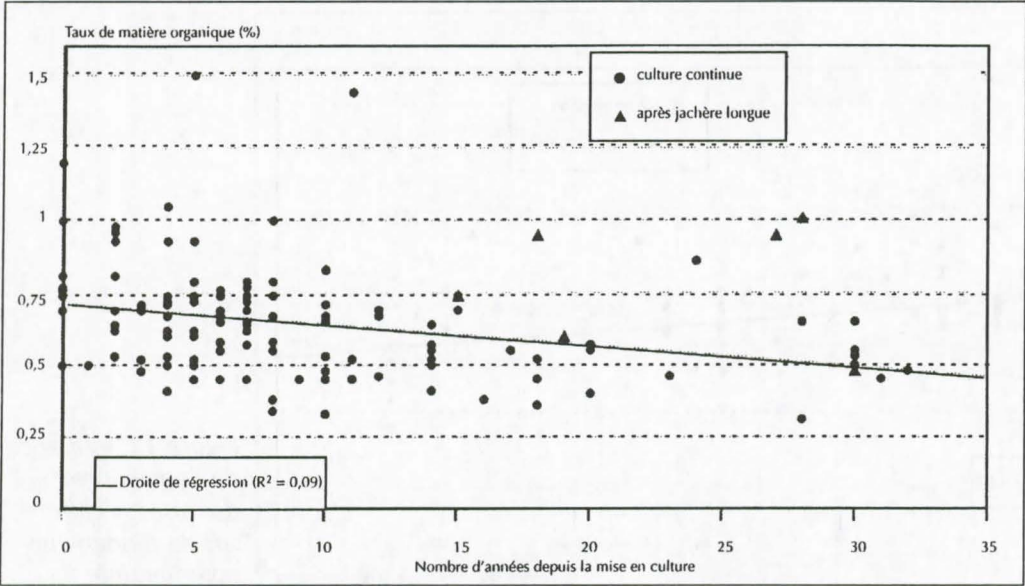
réduction de la biomasse racinaire — dans l'espace et dans le temps — réduisent l'activité de la faune et de la microflore du sol sur l'ensemble du profil.

Au système stable de la savane naturelle succède donc un système caractérisé par moins de biomasse et plus d'érosion, moins d'infiltration mais plus de lixiviation, moins de matière organique et de porosité dans le profil, moins de bases et plus d'acidité. Cette évolution négative est d'autant plus rapide que les bilans organo-minéraux des systèmes de culture sont déficitaires.

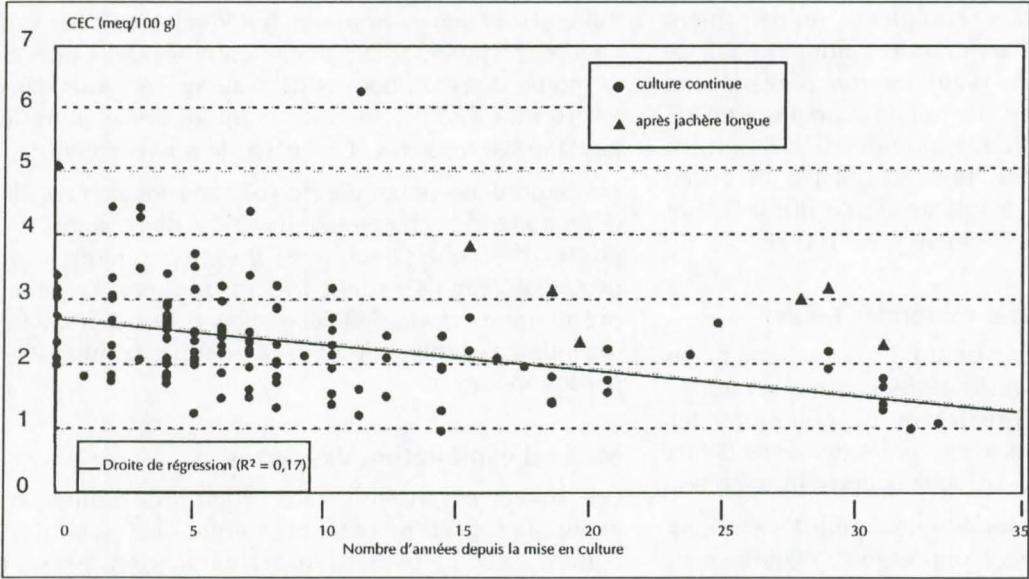
### Une fertilisation minérale insuffisante et acidifiante

Le cotonnier est quasiment la seule culture fertilisée (environ 150 kg/ha). Sachant qu'il représente environ 25 à 30 % de l'assolement dans la région de Garoua, les quantités d'engrais minéral utilisées par les paysans sont très en dessous des quantités mobilisées par les cultures (DUGUE, 1994). Les restitutions étant également très faibles, les bilans minéraux des systèmes de culture sont largement déficitaires en azote et surtout en potassium. Le contexte de crise de la filière coton africaine de la fin des années 80, et notamment le jeu combiné de la chute des cours et de la suppression des subventions sur les engrais, a amené les exploitants à réduire risques et coûts, et donc à diminuer les quantités d'engrais utilisées à l'hectare. Après 1990, le développement du maïs (sur 25 à 30 % de l'assolement selon les années) a permis une augmentation sensible mais insuffisante de la consommation d'engrais (environ 50 kg/ha). Cependant, les crédits de campagne accordés pour les cultures vivrières sont limités, et cela amène les paysans à détourner l'engrais destiné au coton au profit du maïs.

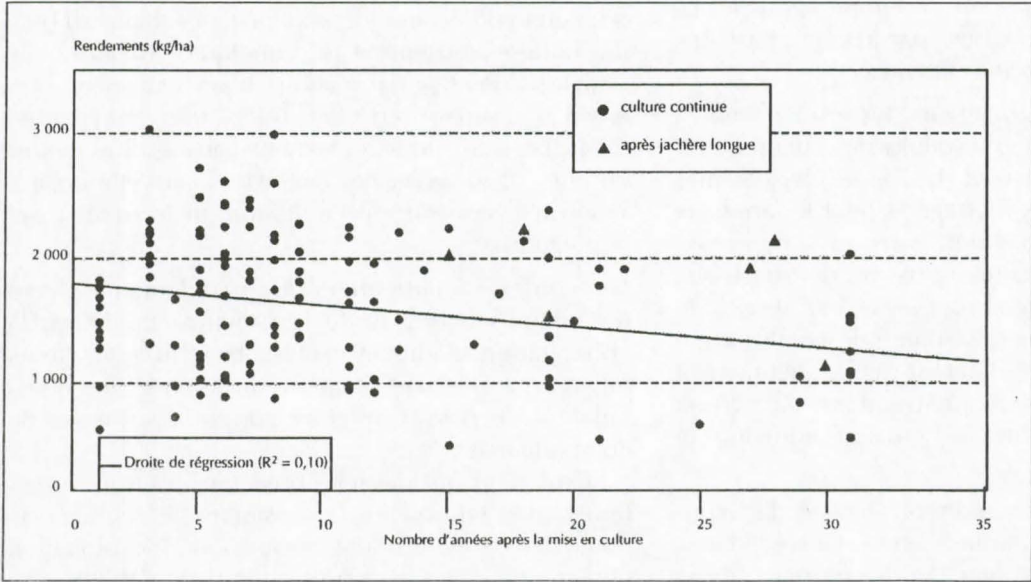




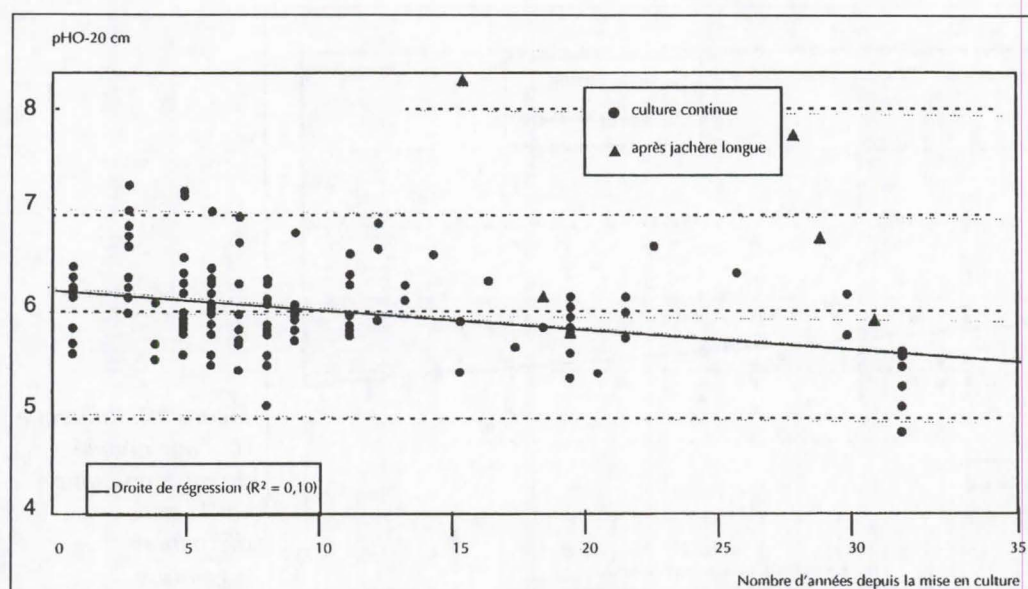
**Figure 10.** Influence de l'ancienneté de mise en culture sur le taux de matière organique.



**Figure 11.** Influence de l'ancienneté de mise en culture sur la capacité d'échange cationique.



**Figure 12.** Influence de l'ancienneté de mise en culture sur le pH.



**Figure 13.** Influence de l'ancienneté de mise en culture sur les rendements coton graine.

En outre, les engrais complets, qu'ils soient complexes ou de mélange, sont acidifiants car le phosphore provient du diammonium phosphate, et l'azote complémentaire du sulfate d'ammonium ou de l'urée ; de plus, ils n'apportent ni calcium, ni magnésium. Le NPKSB (bulk 15-20-15) et l'urée présentent un pouvoir acidifiant de l'ordre de 69 et 75 kg de  $\text{CaCO}_3$  respectivement pour 100 kg.

### Des restitutions organo-minérales faibles

Les systèmes de culture pratiqués actuellement ne comportent guère de restitutions organiques autres que les racines de céréales et de cotonnier, les feuilles de cotonnier abscissées et les différents débris résultant du passage des troupeaux après les récoltes.

Les résidus de céréales représentent pour les éleveurs une ressource fourragère importante, exploitée en vaine pâture ; le feuillage résiduel du cotonnier et les adventices tardives, abondants les années humides, constituent aussi un appoint protéique apprécié. Le volume des déjections laissées par le bétail est faible en regard des prélèvements effectués.

Cependant, pour les agriculteurs, les résidus tendent à devenir de véritables co-produits des cultures : les fanes de légumineuses et les tiges de céréales constituent des réserves fourragères pour les animaux de trait, les tiges de céréales, mais aussi de cotonniers, représentent un combustible ou des matériaux de construction. La pression sur les résidus de récolte augmente et devient parfois source de conflits entre agriculteurs et éleveurs, d'autant que le piétinement des billons par les bovins peut émietter la terre et augmenter la sensibilité à l'érosion éolienne et hydrique.

Lorsqu'elles ne sont pas exportées, les tiges de cotonnier ou de céréales sont brûlées en tas ou en andains, principalement pour faciliter la mise en place de la

culture suivante. On admet généralement que ces cendres restituent à la parcelle entre les deux tiers et la moitié du phosphore et des cations contenus dans les résidus brûlés, le reste étant dispersé dans le paysage par les vents et les eaux de ruissellement.

Les apports de poudrette de parc (ou localement de déjections de chauve-souris recueillies dans les grottes des reliefs tabulaires gréseux) semblent en progression mais restent très insuffisants. Le bilan organique est donc déficitaire : les pertes de matière organique par minéralisation ne sont pas compensées par les apports.

### Mode d'exploitation des terres

Les bilans organo-minéraux étant déficitaires en azote, bases et matière organique, les sols sous culture s'appauvrissent inexorablement en assurant une part importante de la nutrition.

L'érosion générée à l'échelle de la parcelle (carré d'un quart d'hectare) est amplifiée à l'échelle du bloc de culture (ensemble de quelques dizaines de « quarts » jointifs) par manque d'aménagement anti-érosif performant. En effet, les bandes anti-érosives ménagées après le défrichement, tous les 200 mètres ou plus, se sont révélées inefficaces car cette organisation n'a rencontré ni l'adhésion, ni le soutien des populations.

Le contexte particulier du peuplement récent des régions agricoles de la province du Nord, la cohabitation d'autochtones foubé et d'agriculteurs migrants, a créé une situation où, selon le lieu d'installation, le paysan migrant adopte deux types de comportements :

- l'exploitant qui défriche possède l'usufruit de ses terres, mais tant qu'il a la possibilité de défricher de nouvelles terres, il adoptera un mode d'exploitation minier, sans souci de conservation de la fertilité ;



— s'il s'installe dans un village, il se verra attribuer par l'autorité traditionnelle quelques parcelles, mais n'ayant aucune sécurité quant à la pérennité de cet accord, il privilégiera le court terme.

Enfin, l'augmentation de la population rurale entraîne, *via* la saturation de l'espace cultivable, une régression de la pratique de la jachère (FLORET *et al.*, 1993).

## Indicateurs de la fertilité

Les premiers signes d'une baisse de fertilité sont ressentis au bout de 7 à 10 ans. Dans la perception du paysan, outre la diminution des rendements et de l'efficacité des engrais, la baisse de la fertilité est liée à un « ensablement » de la parcelle et à des problèmes accrus de maîtrise de l'enherbement (*Commelina benghalensis*, *Striga hermontica*, cypéracées). Cependant, la durée moyenne de culture continue est comprise entre 20 et 30 ans.

## Séries chronologiques de rendements

Sur des données de Côte d'Ivoire, LANGLAIS (1989), a montré que les rendements en coton graine mesurés en milieu réel s'expliquent bien par la date de semis et le rendement moyen du paysan les trois années précédentes. Cette dernière variable est un indicateur synthétique de la technicité du paysan et des potentialités de sa parcelle.

A fortiori, l'établissement de séries chronologiques de rendements à l'échelle d'un marché de coton (quelques centaines d'hectares), d'une zone ou d'un secteur Sodécoton, permet de suivre l'évolution des potentialités de la zone considérée, du moins en l'absence de changement technique ou économique majeur. Ces données sont disponibles grâce au suivi réalisé par l'encadrement. La figure 14 montre l'évolution des rendements par secteur sur une décennie. On constate ainsi que les rendements moyens par secteur ont chuté de 150 à 200 kg/ha en 10 ans. Ce chiffre est du même ordre de grandeur que celui issu de la relation rendement et ancienneté de la mise en culture (figure 13).

## Rentabilité de la fertilisation

La réponse à l'engrais fonde la typologie des états de fertilité : d'abord faible après une défriche, l'efficacité de l'engrais passe par un maximum pour décroître ensuite avec la dégradation. Ainsi de simples tests de report de fumure sur des placettes à

l'intérieur d'un champ — sans engrais, dose simple, dose double — pourraient permettre d'évaluer l'intensité de la réponse linéaire, et par là, l'état de fertilité. En outre, il serait alors possible de fixer l'optimum économique de fertilisation.

## Taux de matière organique et couleur du sol

La couleur de l'horizon de surface est un bon indicateur de son taux de matière organique, utilisé couramment par les agronomes de terrain. Sa caractérisation précise nécessite l'emploi d'une charte de couleurs, type charte Munsell. La couleur des horizons de surface, estimée en sol humide, est généralement de teinte 10 YR, plus rarement 7,5 YR. Le taux de matière organique influence la clarté de la couleur (du blanc au noir). Pour l'échantillon étudié, la grille d'évaluation suivante est proposée :

- 7,5 ou 10 YR 2/ ou 3/ : sol bien pourvu, matière organique > 0,7 % ;
- 7,5 ou 10 YR 4/ : sol moyennement pourvu, 0,5 % < matière organique ≤ 0,7 % ;
- 7,5 ou 10 YR 5/ : sol pauvre matière organique < 0,5 %.

L'intensité est plus variable et généralement comprise entre 2 et 4.

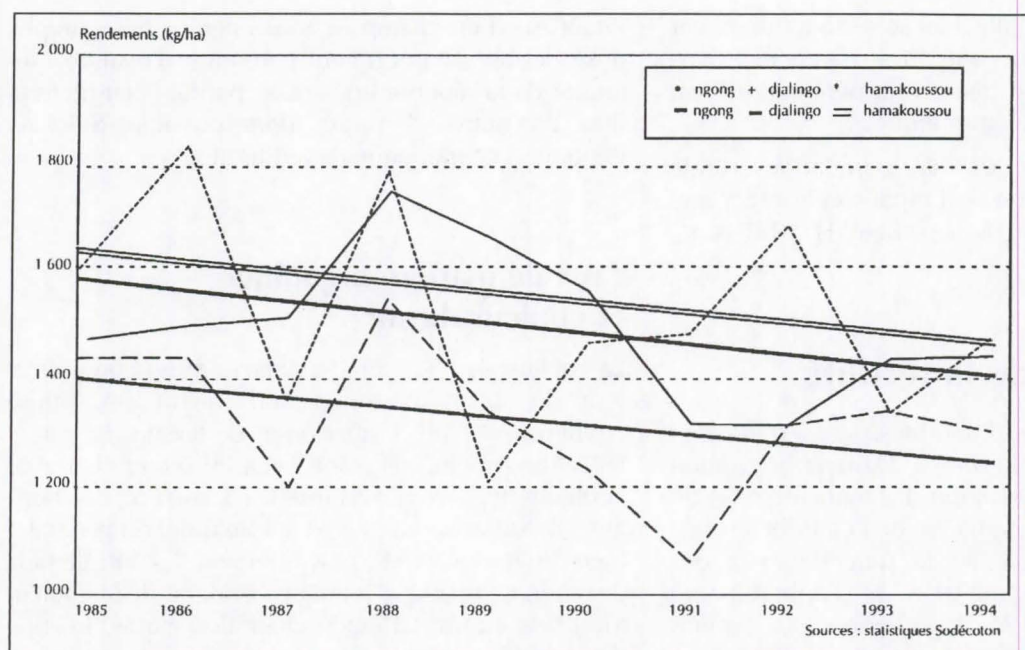
Sans être strictement rigoureux, cet indicateur, moyennant l'édition de planches de couleur abrégées (ne comportant que quelques couleurs de référence, pour les horizons organiques) pourrait permettre aux agents d'encadrement d'accéder à un classement des blocs de culture. Dans d'autres conditions pédoclimatiques, un travail préliminaire croisant analyse (taux de matière organique) et couleur de l'horizon de surface permettrait d'étendre ces grilles d'évaluation.

## Ensablement des parcelles

Des enquêtes en milieu réel ont montré que les paysans sont sensibles à la modification de la texture de l'horizon de surface résultant de l'érosion sélective des particules fines : ils parlent d'ensablement.

L'expertise de l'agronome repose parfois sur l'évaluation du recouvrement de la surface par les sables libres, produits de la ségrégation granulométrique qui s'opère sous l'action érosive des pluies. On a cherché à mettre au point une méthode de suivi des états de surface qui permette de classer les parcelles selon leur érodabilité, fondée sur l'hypothèse suivante : plus la surface est recouverte de sables libres, plus la dégradation est avancée. Les évaluations réalisées





**Figure 14.** Evolution des rendements coton graine par secteur.

montrent que le micro-relief de la surface, après un travail du sol, influence plus l'évolution des états de surface que les caractéristiques intrinsèques liées à la dégradation. Ce test se révèle donc inopérant en milieu réel face à la diversité des modes de préparation, mais pourrait servir en milieu contrôlé sous des itinéraires techniques identiques.

## Flore adventice

Avec la mise en culture, la richesse floristique diminue, mais la concurrence des herbes sélectionnées s'accroît. C'est ainsi que *Commelina benghalensis* et les espèces de son cortège deviennent dominantes en moins de 10 ans (LE BOURGEOIS, 1993). Du fait du souséquipement en culture attelée et des systèmes de culture semi-intensifs pratiqués, le problème du désherbage devient rapidement drastique pour les agriculteurs. Selon toute vraisemblance, cette contrainte croît plus vite que ne décroît le potentiel de production agricole de la parcelle.

Lorsque celui-ci est fortement réduit, le couvert d'adventices devient moins important et *C. benghalensis* moins vigoureuse n'est plus dominante ; des espèces à faible développement deviennent abondantes, telles que *Spermacoce radiata*, *Merremia pinnata*, *Waltheria indica*, *Commelina subulata*, *Cyanotis lanata* et les petites cypéracées annuelles (LE BOURGEOIS, 1993). La pression de l'hémi-parasite des céréales *Striga hermonthica* semble, quant à elle, progresser régulièrement à mesure que le sol s'appauvrit. Ces évolutions bien connues des agriculteurs

pourraient servir de repère aux agronomes sous réserve d'élaborer une grille d'appréciation dont l'élaboration demande encore quelques caractérisations complémentaires.

## Les voies d'amélioration de la gestion de la fertilité

L'augmentation du taux d'occupation des terres rend incontournable à plus ou moins brève échéance l'objectif de durabilité. Il faudra accroître la production agricole — y compris bois et viande — tout en protégeant, améliorant ou restaurant les sols et les ressources naturelles. Ci-dessous sont évoquées les opérations de recherche sur la gestion des terres de culture entreprises par l'IRA et le projet Garoua, relayés par la Sodécoton ou le projet développement paysannal et gestion des terroirs (projet DPGT).

### Cultiver en courbes de niveau

Le ruissellement et l'érosion prennent naissance et se développent dans la parcelle cultivée, mais ils sont considérablement amplifiés à l'échelle du versant. Pour supprimer cette source de dégradation, l'IRA a réaménagé son réseau d'antennes d'expérimentation régionale en courbes de niveau approchées et a livré aux paysans un périmètre expérimental de 90 ha aménagé avec des moyens lourds : ados et fossés tous



les 25 m pour la dispersion des eaux de ruissellement avec lentilles de compensation tous les 100 m (VALLEE et ESSANG, 1994). Ces travaux ont été suivis par la Sodécoton qui a aménagé 3 blocs de culture en parcelles étroites et allongées, séparées par des ados effectués au tracteur léger suivant des courbes de niveau approchées. Le projet DPGT a pris la relève, et avec la participation des paysans, plusieurs dizaines de blocs de culture ont été aménagés et remembrés depuis 1994 dans l'ensemble de la zone cotonnière. Ce principe est également appliqué pour le défrichement de nouveaux blocs, des bandes non déboisées étant préservées entre les parcelles. Le principal avantage de ce type d'aménagement est qu'il conduit les paysans à labourer puis à sarcler et à butter suivant une direction perpendiculaire à la pente.

## Mieux valoriser les résidus de cultures et les déjections animales

La récupération des résidus de cultures à des fins domestiques (fourrages pour petits ruminants, combustible, construction) augmente fortement du sud au nord de la zone cotonnière, en liaison avec la densité de population. Au sud, la restitution des tiges de céréales et de cotonniers représente un potentiel important pour réduire les déficits des bilans organo-minéraux. Mais, faute de moyens de broyage, la restitution des tiges n'est guère possible, car, laissées brutes à même le sol, elle gêneraient les labours, les semis ou les sarclages suivants. Les paysans les abandonnent donc à la vaine pâture puis les brûlent, et ne récupèrent qu'une partie du phosphore et des bases dans les cendres. Au nord, où l'élevage bovin est plus développé parmi les agriculteurs, la poudrette de parc est utilisée pour fertiliser les cultures de sorgho et tenter de maintenir la fertilité des champs proches de l'exploitation. Dans les deux cas, la fabrication de fumier permettrait une valorisation optimale de ces ressources. L'IRA travaille à la mise au point de techniques de fabrication de fumier de saison sèche adaptées aux possibilités des agriculteurs — parcs améliorés ou étables fumières — (DUGUE, 1995). Leur mise en œuvre se heurte à des contraintes importantes : équipement de transport, soins aux animaux et corvée d'eau, et surcroît de travail à des époques déjà chargées (récolte du coton, sorgho de contre-saison, défrichement...). Cependant, le recours au fumier est une solution d'avenir appelée à se développer dans le sillage de la culture attelée. Celle-ci augmente régulièrement et souvent spontanément, comme en témoignent l'utilisation croissante des ânes et des poneys de trait, la fabrication artisanale de charrettes et la constitution de réserves fourragères de plus en plus importante. Mais, même valorisée au maximum, la ressource potentielle que

représente le fumier de ferme ne couvrira qu'une partie des besoins de l'assolement.

## Davantage de légumineuses améliorantes dans l'assolement

L'augmentation de la part des légumineuses dans l'assolement permet d'améliorer les bilans azotés, mais aussi les états de surface et du profil cultural, à des degrés variés suivant les espèces, le rôle qui leur est assigné et la façon dont elles sont conduites. Leur but principal peut être de fournir du fourrage de qualité, de constituer une jachère améliorée de courte durée, de servir de culture associée ou de mulch protecteur pour implanter ensuite d'autres cultures. L'IRA a étudié le comportement de nombreuses espèces de légumineuses exotiques ou locales, annuelles ou pérennes, dans différentes localités couvrant le gradient écologique du Nord-Cameroun (KLEIN, 1994). Les plus adaptées sont en observation en milieu paysan, sous le contrôle du projet DPGT. Ainsi, *Stylosanthes hamata* est utilisée comme culture fourragère ou pour améliorer les jachères naturelles, *Calopogonium mucunoides* comme jachère de courte durée, et *Mucuna pruriens* comme culture associée à usages multiples, certaines étant d'ores et déjà bien acceptées. *Crotalaria juncea* et *Cajanus cajan* ont été conduites en jachère de courte durée sur les antennes d'expérimentation régionales de l'IRA. Cependant, la mise en œuvre de ces cultures améliorantes se heurte à la vaine pâture et aux feux courants, dont la maîtrise par les agriculteurs est encore insuffisante.

## Protéger les sols par des couvertures végétales

C'est lorsque le sol est nu qu'il est le plus exposé à l'agressivité du climat et que l'érosion est la plus intense. L'IRA travaille à la mise au point de systèmes de culture sans travail du sol fondés sur le maintien d'une couverture végétale vivante ou morte quasi permanente. Le mulch est constitué par les résidus de culture, des plantes de couverture ou des adventices neutralisées par un désherbant total au moment du semis, puis maîtrisées par des herbicides sélectifs des cultures ou des traitements dirigés dans les interlignes. Les plantes de couverture telles que *Calopogonium mucunoides* et *Mucuna pruriens*, implantées en dérobée dans une culture de maïs précoce, se développent très bien après la récolte en fournissant une couverture quasi totale, très protectrice (VALLEE et al., 1995 ; BOLI et al., 1993). En milieu paysan, le semis direct sur mulch d'adventices s'est développé ces dernières années dans le sud de la zone cotonnière, en réponse à une stratégie d'augmentation des



surfaces en coton, fortement stimulée depuis 1994 par la dévaluation du franc CFA dans une région sous-équipée en culture attelée. L'IRA a travaillé à l'amélioration de cet itinéraire technique et propose un travail à la dent sur la ligne de semis pour ameublir l'horizon compact présent à faible profondeur dans les parcelles régulièrement labourées (GUYOTTE, 1995). Cette innovation peu contraignante pourrait connaître un certain développement dans les années à venir.

## Parcs arborés et cultures en couloir

Certaines espèces ligneuses sont traditionnellement conservées en parcs car les populations rurales en apprécient les multiples usages. Les parcs à *Acacia albida*, arbres fourragers en pleine expansion dans la moitié nord de la zone cotonnière, servent principalement à fertiliser les terres. Les gousses sont destinées au bétail. La litière, composée de folioles hautement dégradables enrichit le sol avec l'azote atmosphérique et les éléments minéraux puisés en profondeur. L'IRA, outre l'adaptation d'espèces exotiques ou locales d'*Acacia albida* à la moitié sud de la zone cotonnière, étudie d'autres formes d'agroforesterie telle que la culture en couloir (HARMAND et al., 1997). L'alternance de bandes relativement larges de culture avec des bandes d'arrêt d'espèces ligneuses telles que *Cassia siamea* ou *Cajanus cajan* présente plusieurs avantages sur la réduction de l'érosion hydrique et éolienne (augmentation du cloisonnement du sol et de l'espace aérien) et fertilisation des bandes de culture par la restitution du feuillage régulièrement élagué sur les rideaux ligneux (BOLI et al., 1993). En milieu producteur, la plantation de rideaux de *Cajanus cajan*, dont les usages sont multiples, a été proposée pour marquer les limites de champ ou pour protéger la terre le long des ravines d'érosion.

## Jachères naturelles et améliorées

Le rôle restaurateur de la fertilité par la jachère naturelle dépend de l'état de dégradation du terrain à l'abandon cultural et de son potentiel de régénération — présence d'arbres et de souches dans le terrain et à proximité —, mais aussi de sa conduite, qui détermine la durée nécessaire au rétablissement d'un certain niveau de fertilité. Son potentiel de restauration peut se révéler quasiment nul si la jachère est surexploitée par le pâturage ou le bois. Ces aspects sont étudiés à l'IRA, qui s'attache à mettre au point un ensemble d'indicateurs phytoécologiques et

biopédologiques d'état du milieu (DONFACK et al., 1995). La jachère arborée plantée est une alternative à la jachère naturelle permettant d'écourter la phase de régénération (HARMAND et al., 1997). Deux ans avant la mise en jachère, les arbres sont plantés et entretenus d'abord dans une culture d'arachide, puis dans une culture quelconque. Plusieurs espèces ligneuses à croissance rapide ont été testées, celle qui a montré la meilleure aptitude est *Acacia polyacantha*, légumineuse dont la litière abondante est rapidement dégradée et incorporée au sol. Trois ans après la plantation, les cimes sont jointives, entre la quatrième et la sixième année, les arbres peuvent être abattus. Le bois des branches charpentières est récupéré, et avant la remise en culture, les souches sont dévitalisées en brûlant les écorces et le petit bois. Le principal avantage de ce système est que l'agriculteur, en devenant maître d'une plantation, se crée des droits sur son terrain pendant la phase de régénération. La jachère arborée plantée devient une voie d'avenir pour gérer la fertilité des terres de culture.

## Politique des engrais

L'intégration accrue dans les systèmes de culture de diverses plantes améliorantes suivant les modalités variées précédemment évoquées trouve cependant des limites dans la gestion de la fertilité des terres. Avec l'exportation croissante des résidus de culture, le recours aux engrais minéraux restera indispensable pour équilibrer les bilans minéraux et pour permettre aux plantes améliorantes d'exprimer leurs potentialités. Le raisonnement de la fertilisation minérale passe par un plus grand découplage des fertilisations azotée et phospho-potassique. L'IRA travaille sur un nouveau programme de fertilisation consistant à fractionner l'azote en trois apports, le premier sous forme d'un bulk NPKSB (sous-dosé en azote, surdosé en phosphore et en potasse) au semis, les suivants sous forme d'urée à 20 et 40 jours plus tard. Le fractionnement de l'azote permet de réduire les pertes par lixiviation et d'atteindre une meilleure adéquation des apports aux besoins de la culture. L'efficacité globale de la fertilisation s'en trouve augmentée, essentiellement à travers un effet azote auquel les paysans sont très sensibles, la composante phospho-potassique étant surtout appréhendée par ses arrières-effets sur la céréale succédant au coton. Mais l'objectif de durabilité implique des apports complémentaires de potasse et même de calcium sous forme d'engrais simples à apporter de façon ciblée, et dont le surcoût sera difficilement supportable par les agriculteurs (CRETENET, 1991). La vulgarisation de programmes de fertilisation raisonnée devrait permettre d'obtenir des subventions pour ses composantes les plus impliquées dans un objectif d'agriculture durable.



## Conclusion

L'enquête fertilité avait pour objectifs de permettre une évaluation et un diagnostic des états de fertilité des sols ferrugineux tropicaux sur grès du Bassin de Garoua. Le dispositif original mis en place se compose d'un réseau de 150 essais de courbes de réponse à la fertilisation du cotonnier en milieu paysan, que l'on a caractérisés par leur itinéraire technique, des analyses de sol, des mesures de physiques de sol, des descriptions des états de surface et des traces d'érosion, et des enquêtes sur l'historique des systèmes de culture. Le premier résultat concerne la gamme de variation des rendements qui s'étale de 430 à 3 400 kg par hectare de coton graine pour une fertilisation de 250 kg/ha. La classification proposée des états de fertilité s'appuie sur des critères agronomiques choisis empiriquement afin de discriminer au mieux l'allure des courbes de réponse à la fertilisation en trois catégories : 15 % des surfaces encadrées par la Sodécoton sont classés dans la catégorie des sols dégradés, 15 % dans la catégorie de sols non dégradés et 70 % dans la catégorie intermédiaire. L'emploi de critères économiques n'a pas été possible en raison de la fluctuation importante des cours relatifs du coton graine et des engrais en l'espace d'une décennie. Cependant, l'analyse économique sur la marge brute après remboursement des intrants montre que plus de 50 % des parcelles gagneraient à recevoir une dose d'engrais supérieure à la dose vulgarisée de 250 kg/ha.

Le diagnostic des mécanismes pédologiques de la dégradation de la fertilité met en avant le rôle central joué par la matière organique particulièrement en raison de sa contribution majeure à la capacité d'échange cationique. On retrouve les conclusions de PIERI (1989) : dans ces sols très sableux, la mise en culture provoque une baisse importante du taux de matière organique par minéralisation, la faiblesse des restitutions et des apports d'engrais explique la désaturation du complexe adsorbant et, dans une phase ultérieure, l'acidification. On dispose ainsi d'un référentiel, spécifique à ce type de sol, mettant en relation caractéristiques physico-chimiques et états de dégradation de la fertilité.

La faiblesse et l'imprécision des données collectées sur l'historique des systèmes de culture ne permet pas de mettre en relation les états de fertilité et les pratiques paysannes. Une étude menée en 1992 (SIGRIST, 1992) a montré l'évolution des pratiques paysannes dans la région de Garoua en réaction à la crise de la filière coton à partir des années 1986 : diminution des quantités de fertilisants appliquées sur cotonnier, due souvent à un détournement au profit du maïs qui profitait de la baisse des cours de la fibre, conduite moins soignée des cultures en raison d'une extension des surfaces. Dans ce contexte, il convient

donc de relativiser les craintes de la Sodécoton. La stagnation des rendements est le reflet de la combinaison de deux facteurs : la dégradation des pratiques paysannes dans un contexte de crise et la baisse réelle, mais finalement minime, de la fertilité.

## Références bibliographiques

- BOLI Z., ROOSE E., BEP A ZIEM B., 1993. Effets des techniques culturales sur le ruissellement, l'érosion et la production de coton et de maïs sur un sol ferrugineux sableux. Cahiers ORSTOM, pédologie 28 (2).
- BOSC P.M., 1988. L'analyse économique CIMMYT appliquée à une expérimentation fertilisation sur cotonnier en RCI.
- BRABANT P., FARDIN B., 1979. Reconnaissance pédologique du bassin versant de Sanguéré, ORSTOM, Paris, France, 35 p.
- BRABANT P., GAVAUD, M., 1985. Les sols et les ressources en terres du Nord-Cameroun. Collection carte. Notice explicative n° 103, ORSTOM, Bondy, France.
- CRETENET M., DUREAU D., TRAORE B., DALLO D., 1994. Fertilité et fertilisation dans la région sud du Mali : du diagnostic au pronostic. Agriculture et développement n° 3 : 4-12.
- CRETENET M., 1990. Efficacité agronomique des engrais en agriculture fixée. In Savanes d'Afrique, terres fertiles ? Montpellier, France, 10-14 décembre 1990, p. 419-438.
- DONFACK P., DIBOISSET A., MAINAM F., OBALE F., NDAKA S., SEINY BOUKAR L., 1995. Raccourcissement du temps de jachère, biodiversité et développement durable en Afrique centrale et en Afrique de l'Ouest. Rapport de campagne, IRA Maroua, Cameroun, non publié.
- DUGUE P., KOULANDI J., MOUSSA C., 1994. Diversité et zonage des situations agricoles et pastorales de la zone cotonnière du Nord-Cameroun, IRA projet Garoua, 86 p.
- DUGUE P., 1995. Amélioration de la production et de l'utilisation de la fumure organique animale en zone cotonnière du Nord-Cameroun. Résultats préliminaires. Communication présentée au 3<sup>e</sup> atelier RESPAO/GERFMASS Production de la fumure organique en zone subhumide : technologies disponibles, méthodes de transfert et gestion paysanne, Bobo Dioulasso, Burkina, 13-17 février 1995.
- FLORET C., PONTANIER R., SERPANTIE G., 1993. La jachère en Afrique tropicale. Dossier MAB 16, UNESCO.



- GUYOTTE K., 1995. Opération travail minimum. Rapport technique annuel, campagne 1994/1995. IRA projet Garoua, 20 p.
- HARMAND J.M., NJITI F.C., NTOUPKA M., 1997. Contribution à la gestion de l'arbre et des formations naturelles de savanes en zone soudanienne du Cameroun. *In* Actes du colloque Agricultures des savanes du Nord-Cameroun, Garoua, Cameroun, 25-29 novembre 1996. Montpellier, France, CIRAD.
- KLEIN D., 1994. Les légumineuses dans l'assolement céréales-coton au Nord-Cameroun. Gestion et utilisation. Document provisoire, CIRAD-EMVT, Maisons-Alfort, France.
- LANGLAIS C., 1989. Modulation de la recommandation pour la fertilisation du cotonnier en Côte d'Ivoire. *In* Conférence de la recherche cotonnière africaine, Lomé, Togo, 31 janvier-2 février 1989, p. 489-497.
- LE BOURGEOIS T., 1993. Les mauvaises herbes dans la rotation cotonnière au Nord-Cameroun Afrique. Thèse USTL, Montpellier, France, 249 p.
- M'BIANDOUN M., 1990. Zonage agroclimatique du risque de sécheresse régional. Le cas du Nord-Cameroun. Mémoire CNEARC-ESAT, 36 p.
- PERRIER X., DELVAUX B., 1991. Une méthodologie de détection et de hiérarchie des facteurs limitant la production à l'échelle régionale. Application à la culture bananière, Fruits 46 (3) : 213-226.
- PIERI C., 1989. Fertilité des terres de savanes. CIRAD/ministère de la coopération et du développement, 443 p.
- RICHARD L., DJOULET D., 1983. La fertilité des sols et son évolution. Zone cotonnière du Tchad. Supplément Coton et fibres tropicales n° 6.
- SEMENT G., 1983. La fertilité des systèmes culturaux à base de cotonnier en Côte d'Ivoire. Supplément Coton et fibres tropicales n° 4, 40 p.
- SIGRIST J.C., 1992. Pratiques paysannes et utilisation des intrants en culture cotonnière au Nord-Cameroun. Mémoire de stage ISTOM, le Havre, France.
- SUZOR H., 1991. Evaluation et diagnostic de la fertilité, IRA/CIRAD/Projet Garoua, 44 p.
- VALLEE G., ESSANG T., 1994. Aménagement anti-érosif et gestion de terroir : les cas de Sanguéré Djalingo (Nord-Cameroun). *In* Analyse de la diversité des situations agricoles. Conséquences sur la programmation de la recherche. Actes de l'atelier d'échange et de formation, Garoua, Cameroun, 22-28 octobre 1993. CIRAD-CA, Montpellier, France, p. 128-131.
- VALLEE G., M'BIANDOUN M., 1995. Mise au point de système de culture en semis direct dans la zone soudanienne du Nord-Cameroun. Cas de l'aménagement de Sanguéré-Djalingo. *In* Actes du colloque Agricultures des savanes du Nord-Cameroun, Montpellier, France, CIRAD.